

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 42 02 487 A 1

51 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
B 23 K 26/06  
G 02 B 27/00  
// A61B 17/36, A61C  
1/08

21 Aktenzeichen: P 42 02 487.0  
22 Anmeldetag: 27. 1. 92  
43 Offenlegungstag: 29. 7. 93

DE 42 02 487 A 1

71 Anmelder:  
OPTEC Gesellschaft für optische Technik mbH, 5909  
Burbach, DE

74 Vertreter:  
Christiansen, H., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 1000 Berlin

72 Erfinder:  
Müller, Gerhard J., Prof. Dr.-Ing., 1000 Berlin, DE;  
Giebel, Gerfried, Prof. Dr.med., 6650 Homburg, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 33 40 112 A1  
DE-OS 15 65 144  
DE 91 13 803 U1  
US 50 55 653  
US 47 13 518

JP Patents Abstracts of Japan: 63-177982 A., M-767,  
Nov.22, 1988, Vol.12, No.445;  
59- 87424 A., P-300, Sept.14,1984, Vol. 8, No.202;

54 Vorrichtung zum Schneiden mittels Laserstrahlung

57 Vorrichtung zum Schneiden mittels Laserstrahlung, insbe-  
sondere zur Steigerung der Schneideffizienz bei Composit-  
Materialien, mit einer Anordnung zur Fokussierung der  
Laserstrahlung längs einer quer zur Strahlungsrichtung  
verlaufenden Linie.

DE 42 02 487 A 1

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung der im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Art.

Es ist bekannt, Laserstrahlung — ausgehend vom Laser-Generator — über Strahlführungssysteme zum Interaktionsort zu leiten und gegebenenfalls dort zur Erhöhung der Leistungs- bzw. Energiedichte mit abbildenden optischen Elementen zu fokussieren.

Dabei entspricht in aller Regel der Querschnitt des Fokus dem verkleinerten Bild der Strahltaile der Laserstrahlung im Resonator. Dieses Bild ist in der Praxis in etwa punktförmig. Strahlführungssysteme nach dem Stand der Technik sind dabei entweder als Mehrspiegelnkarmen oder Lichtwellenleiter ausgebildet. Dabei weisen die Lichtwellenleiter, insbesondere im UV- oder IR-Bereich, meist noch technische Unzulänglichkeiten hinsichtlich der Übertragung höherer Energie- bzw. Leistungsdichten auf, so daß die gewünschten Energie- bzw. Leistungswerte, welche hinreichend hoch über der Einsatzschwelle des jeweiligen Prozesses liegen müssen, nicht sicher übertragen werden können.

Bei der Benutzung von Lasern im Spektralbereich von 150 nm bis 11 µm zum Schneiden von strukturierten Materialien, insbesondere organischen Hartgeweben, besteht dabei insbesondere noch das Problem, daß der fokussierte Strahl texturbedingt stark unterschiedliche Einschnitttiefen zeigt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung der eingangs genannten Gattung anzugeben, bei der unter Beseitigung der eingangs genannten Nachteile unter verbesserter Energieausnutzung der Laserstrahlung eine Homogenisierung der Schnitteigenschaften erreicht werden kann.

Diese Aufgabe wird mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Die Erfindung schließt die Erkenntnis ein, daß durch die Ausrichtung der Laserstrahlung längs einer Linie — insbesondere unter Verwendung einer anamorphotischen Optik — und der damit gebildeten Linie von Interaktionen zwischen Laserstrahlung und zu bearbeitender Materialoberfläche eine Ausmittelung in der Weise eintritt, daß unter Einhaltung bzw. Überschreitung der erforderlichen (Mindest-)Schwellenenergie- bzw. Schwellenleistungsdichte der Laserstrahlung sich sowohl Instabilitäten der Laserstrahlung als auch Inhomogenitäten des Materials in günstiger Weise ausmitteln lassen. Durch die Bündelung der Laserstrahlung entlang einer Linie (und gegebenenfalls entsprechender Führung entlang dieser Linie nach Art eines Skalpells) gelangen (nacheinander) Bereiche unterschiedlicher Widerstandsfähigkeit des Materials mit Bereichen unterschiedlicher Strahlungsintensität in Kontakt, so daß sich eine höhere Schnittleistung erzielen läßt. Die gegenüber der ungebündelten Strahlung erhöhte Amplitude der örtlichen und zeitlichen Leistungsschwankungen ist dabei besser an den Schwankungsbereich der differentiellen örtlichen Veränderungen der Materialeigenschaften angepaßt, so daß der Materialabtrag auch vergleichmäßigt ist.

Insbesondere tritt auch durch die sukzessive Applikation von Laserenergie längs einer Linie bei einer schneidenden Bewegung entsprechenden Handhabung des Gerätes eine Überlagerung der mit einzelnen Strahlungsanteilen längs der Linie erzielten Wirkung ein. Durch schneidenartige Konfiguration des Laserbündels wurde eine große Effektivität beim Materialabtrag mit großer lokaler Energiedichte erzielt, ohne daß dabei die

Gesamterwärmung unzulässig große Werte erreichen würde.

In vorteilhafter Weiterbildung des Erfindungsgedankens wird ein zweites anamorphotisches Bauelement zusätzlich zu dem oben aufgeführten, jedoch relativ zu dem erstgenannten um die optische Achse drehbar angeordnet. Dadurch kann in Abhängigkeit vom Verstellwinkel die Länge der Interaktionslinie in weiten Grenzen beliebig eingestellt werden, was besonders bei Änderung der Schnittrichtung mit kleinen Radien von Bedeutung ist.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung von Präzisionsschnitten ist es vorgesehen, proportional zum Verstellwinkel der anamorphotischen Optik ein Signal abzuleiten, mit dessen Hilfe die Ausgangsleistung bzw. Energie des Lasers derart geändert werden kann, daß die Leistungs-(Energie-)dichte in der Interaktionszone immer einem gewünschten voreingestellten Wert entspricht.

In einer anderen bevorzugten Ausführung ist dem erstgenannten anamorphotischen Bauelement ein lineares Linsenarray nachgeschaltet, welches dazu dient, die Brennlänge in einzelne Brennpunkte längs einer Linie aufzulösen. Dies wird insbesondere dann angewendet, wenn zur Überschreitung der notwendigen Prozeßschwellen eine weitere Erhöhung der Energie-(Leistungs-)dichte in Betracht kommt.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des Erfindungsgedankens kann die gestellte Aufgabe auch mit faseroptischen Bauelementen erreicht werden. Dabei wird die mit bekannten Mitteln erzeugte Laserstrahlung mittels Amplituden- oder Wellenfrontteilung in mehrere Einzelfasern eingekoppelt.

Diese einzelnen Fasern nehmen dann zum distalen Ende hin eine in einer Ebene linienartig ausgerichtete Konfiguration an.

Bei dieser Erfindungsvariante ist die Linienlänge der nutzbaren Laserstrahlung durch eine veränderbare Neigung der Endbereiche der Fasern zueinander einstellbar.

Die mit der erfindungsgemäßen Laserschneidvorrichtung längs einer Linie fokussierte Laserstrahlung läßt sich insbesondere günstig durch einen Mehrspiegelnkarm zur Interaktionszone führen. Eine zur Fokussierung verwendete anamorphotische Optik besteht bevorzugt in einer Zylinderlinse. Die für die erfindungsgemäße Laserschneidvorrichtung benutzte Laserstrahlung weist insbesondere eine Wellenlänge zwischen 150 nm und 11 µm auf. Die variablen Pulslänge betragen dabei mindestens 10 ns.

Die Verkürzung der linienförmigen Fokussierung der Laserstrahlung läßt sich variieren durch eine weitere auf derselben optischen Achse drehbar vorgesehene Zylinderlinse.

Ein mit der Linsenfassung verbundener Positionsgeber gibt ein drehwinkelproportionales Signal ab, das zur Leistungs- bzw. Energiedichteregulierung nutzbar ist.

Bei einer alternativen Ausführungsform der Erfindung werden zur Übertragung der Laserstrahlung Lichtwellenleiter benutzt. Diese sind bevorzugt an ihrem distalen Ende linienförmig in einer Ebene ausgerichtet und derart gelagert, daß das jeweilige Strahlenbündel den linienförmigen Bereich mit variabler Konvergenz ausleuchtet.

Andere vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet bzw. werden nachstehend zusammen mit der Beschreibung der

bevorzugten Ausführung der Erfindung anhand der Figuren näher dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 eine erste Ausführung der Erfindung als Teildarstellung im Schnitt,

Fig. 2 ein Variante der Ausführung gemäß Fig. 1 mit drehbarer weiterer Zylinderlinse,

Fig. 3 eine andere Variante der Ausführung gemäß Fig. 1 mit zusätzlichen Linsen zur Fokussierung entlang einer Linie,

Fig. 4 ein weiteres Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung, mit einer Aufteilung der einfallenden Laserstrahlung auf mehrere Lichtleiter,

Fig. 5 bis 5b eine Variante der Ausführung gemäß Fig. 4 mit verschiedenen Detaildarstellungen,

Fig. 6 ein weiteres Detail einer Ausführung gemäß Fig. 4 oder 5 zur Veränderung der Neigung der Lichtleitfasern untereinander sowie

Fig. 7 eine Vorrichtung zur Veränderung der Länge des linienförmigen Querschnitts des mit einer der vorstehend dargestellten Ausführungsformen der Erfindung erzeugten Laserstrahlenbündels.

Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel der Erfindung gelangt ein Laserstrahlenbündel 4 von einem nur in seinem distalen Bereich dargestellten Teil des Handstücks 1 über eine Sammellinse 1 zu einer Zylinderlinse 3, welche die anamorphotische Optik bildet. Durch die Zylinderlinse erfolgt eine Bündelung der Strahlung in der Weise, daß die Strahlung im Querschnitt ein rechteckiges bis linienförmiges Profil erhält. Mit dieser Vorrichtung lassen insbesondere Materialien mit inhomogener Struktur bearbeiten, so daß sich insbesondere eine Steigerung der Schneideffizienz bei Composit-Materialien, erzielbar ist.

Die Laserstrahlung am distalen Ende eines (nicht dargestellten) Spiegelgelenkarmes läßt sich damit das Laserstrahlbündel derart auf eine Brennnlinie konzentrieren, daß bei Überschreiten der Schwellenenergie-(resp. Leistungs-)dichte die Laserstrahlung längs einer Interaktionslinie mit dem Material in Wechselwirkung tritt und damit Punkt-zu-Punkt-Instabilitäten der Laserstrahlung mit entsprechenden Punkt-zu-Punkt-Inhomogenitäten des Materials sehr gut ausgemittelt werden können.

Bei einer — in Fig. 2 dargestellten — weiteren Ausführung der Erfindung entsprechend die mit übereinstimmenden Bezugszeichen versehenen Bauelemente in ihrer Funktion den anhand von Fig. 1 beschriebenen. Zusätzlich zu dem ersten anamorphotischen Bauelement in Form der Zylinderlinse 3 ist ein weiteres anamorphotisches Bauelement 6 vorgesehen, welches zusätzlich um die (strichpunktiert dargestellte) optische Achse drehbar ist. Dadurch kann in Abhängigkeit vom Verstellwinkel die Länge der Interaktionslinie in weiten Grenzen beliebig eingestellt werden, was besonders bei Änderung der Schnittrichtung mit kleinen Radien von Bedeutung ist. Beim Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung von Präzisionsschnitten wird erfindungsgemäß proportional zum Verstellwinkel der anamorphotischen Optik ein Signal abgeleitet, mit dessen Hilfe die Ausgangsleistung bzw. Energie des Lasers derart geändert werden kann, daß die Leistungs-(Energie-)dichte in der Interaktionszone immer einem voreingestellten Wert entspricht.

Bei einer bevorzugten in Fig. 3 dargestellten anderen Ausführung der Erfindung ist — bei im übrigen unter Verwendung übereinstimmender Bezugszeichen einer der Ausführung nach Fig. 1 entsprechenden Anordnung — dem erstgenannten anamorphotischen Bauelement 3

ein lineares Linsenarray 14 im optischen Strahlengang nachgeordnet, welches dazu dient, die Brennnlinie in einzelne Brennpunkte längs einer Linie aufzulösen. Hiermit läßt sich eine weitere Energiekonzentration in einem Linienbereich erreichen, wenn sich bei der Überschreitung der notwendigen Prozeßschwellen eine weitere Erhöhung der Energie-(Leistungs-)dichte als notwendig erweisen sollte. Dies gilt insbesondere auch unter dem Gesichtspunkt der Bereitstellung von Strahlungsbereichen unterschiedlichen Energiegehalts bei Behandlung inhomogener Materialschichten.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung, wie sie in den Fig. 4 und 5 in zwei Varianten beschrieben ist, werden zur Lösung faseroptische Bauelemente verwendet, um eine linienförmige Erstreckung des Strahlungsquerschnitts zu erzielen. Die Ausführung entspricht also insoweit derjenigen gemäß Fig. 1, bei der für den entsprechenden Zweck eine Zylinderlinse verwendet wird.

Bei der Ausführung gemäß Fig. 4 wird die einfallende Laserstrahlung mittels Amplitudenteilung durch Umlenkspiegel 9 bis 11 über zwischengeschaltete Sammellinsen auf die einzelnen Lichtleitfasern 13 verteilt, welche die so aufgeteilte Laserstrahlung zum distalen (Applikations-)Ende der Anordnung führen.

Eine Variation der Abmessungen des linienförmigen Querschnitts läßt sich bei dieser Ausführung ebenfalls durch eine drehbare Zylinderlinse erreichen, welche am distalen Austrittsende in einem linienförmigen Querschnittsbereich anzuordnen der Fasern anzuordnen wäre.

Bei der Ausführungsvariante gemäß Fig. 5 wird die durch eine gemeinsame Sammellinse 12 einfallende Laserstrahlung durch Wellenfrontteilung in mehrere zu einem Bündel zusammengeführte Einzelfasern 13 eingeleitet. Der Querschnitt A-A gemäß Fig. 5 ist in Fig. 5a getrennt wiedergegeben und zeigt die Bündelanordnung der Einzelfasern, welche dazu dient, die von der Sammellinse 12 konzentrierte Strahlung möglichst vollständig in die Einzelfasern überzuleiten.

In Fig. 5b sind die Einzelfaser in im Endbereich paralleler Ausrichtung dargestellt. Die Laserstrahlung fällt senkrecht auf die Materialoberfläche 15. Der zwischen einer parallel zur Materialoberfläche verlaufenden Geraden 16 und der Richtung der Fasern eingeschlossene Winkel  $\alpha$  beträgt  $90^\circ$ . Diese einzelnen Fasern sind am distalen Ende in einer Ebene parallel angeordnet.

Gemäß einer Weiterbildung kann eine Veränderung der Linienlänge durch eine einstellbare Neigung der Fasern zueinander erreicht werden. Bei einer bevorzugten, in den Fig. 6a und b in zwei Positionen dargestellten, Weiterbildung ist die Länge der Ausdehnung der Strahlenbündels quer zur Strahlrichtung mittels einer mit divergierende Führungen 61 bis 63 auf die im Querschnitt dargestellten Lichtleitfasern einwirkenden kammartigen Vorrichtung 60 einstellbar. Bei der in Fig. 6a dargestellten Position weisen die Lichtleiter ihren weitesten Abstand auf, während sie in der Position gemäß Fig. 6b dicht benachbart verlaufen, so daß die Länge der Quererstreckung des Laserbündels verringert ist. Die Lichtleitfasern sind dabei insbesondere in einiger Entfernung von der kammartigen Vorrichtung schwenkbar befestigt, so daß ihre relative Neigung veränderbar ist.

Bei einem in Fig. 7 dargestellten Ausführungsbeispiel ist eine Schaltung zur selbständigen Nachsteuerung der Strahlungsenergie im Applikationsbereich für eine Anordnungen der in Fig. 2 dargestellten Art vorgesehen.

Bei einer Strahlungsanordnung 70 ist die zweite Zylinderlinse 71 mittels eines mechanischen Antriebs rotierbar, der von einer Steuerschaltung 73 aktiviert wird. Durch Vorgabe eines Sollwertes 74 kann damit die Länge des Strahlungsquerschnitts eingestellt werden. Durch einen Positionssensor 75 und eine entsprechende Rückführung ist die Stellung der Zylinderlinse 71 exakt reproduzierbar.

Über eine gestrichelt dargestellte weitere Verbindung 76 zur Laserquelle 77 läßt sich weiterhin durch Beeinflussung der Dauer der Energieimpulse die Energiedichte im Applikationsraum zusätzlich — und damit insgesamt in weiten Grenzen — beeinflussen.

Liegt die erzielbare Bestrahlungsenergie unterhalb des gewünschten Sollwerts, so wird durch Verstellung der Zylinderlinse in Richtung einer Verkürzung der Linienlänge quer zur Strahlungsrichtung die Energiedichte am Objekt heraufgesetzt. Im anderen Fall erfolgt die Verstellung in umgekehrtem Richtungssinn. Auf diese Weise kann für verschiedene Materialien jeweils der optimale Energiewert empirisch ermittelt und durch externe Einstellung vorgegeben werden.

Durch die Regelungswirkung wird der betreffende Wert auch bei Instabilitäten der zugeführten Strahlung in einem weiten Bereich aufrechterhalten. Zusätzlich kann (wie erwähnt und mit den gestrichelten Pfeilen angedeutet) als weitere Größe zur Beeinflussung der Laserenergie am Applikationsobjekt auch die Impulsdauer verändert werden. Größere Impulsdauern tragen dabei zur Heraufsetzung der abgegebenen Energie bei.

Die Erfindung beschränkt sich in ihrer Ausführung nicht auf das vorstehend angegebene bevorzugte Ausführungsbeispiel. Vielmehr ist eine Anzahl von Varianten denkbar, welche von der dargestellten Lösung auch bei grundsätzlich anders gearteten Ausführungen Gebrauch macht.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Schneiden mittels Laserstrahlung, insbesondere zur Steigerung der Schneideffizienz bei Composit-Materialien, dadurch gekennzeichnet, daß eine Anordnung zur Fokussierung der Laserstrahlung längs einer quer zur Strahlungsrichtung verlaufenden Linie vorgesehen ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Fokussierung längs einer Linie mittels einer anamorphotischen Optik oder bei Übertragung der Laserstrahlung durch eine Anzahl von Lichtwellenleitern, insbesondere in Form von einzelnen Lichtleiterfasern, durch Ausrichtung Neigung der distalen Enden dieser Lichtwellenleiter längs einer geraden Linie erfolgt, wobei die Teilung der den einzelnen Lichtwellenleitern zugeführten Strahlungsanteile insbesondere aus einer einzigen Strahlungsquelle durch Amplituden- oder Wellenfrontteilung abgeleitet werden.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die anamorphotische Optik mindestens eine Zylinderlinse aufweist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Zylinderlinse ein lineares Linsenarray nachgeordnet ist, welches parallel zur Brennnlinie ausgerichtet ist und die Brennnlinie in einzelne Brennpunkte auflöst.
5. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich zu der Anordnung zur Fokussierung längs einer quer

zur Strahlrichtung verlaufenden Linie eine weitere, verstellbare Anordnung vorgesehen ist, mit der die Länge der Linie bzw. der Grad der Fokussierung entlang der Linie veränderbar ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die verstellbare Anordnung aus einer, gegebenenfalls weiteren, Zylinderlinse besteht, die relativ zu der Anordnung zur Fokussierung um eine in Strahlrichtung weisende Achse verdrehbar ist oder — im Falle einer Ausrichtung in einer geraden Linie mittels einzelner Lichtleiter — durch konforme Auslenkung der Faserenden in Richtung der Linie im Sinne einer Strahlungsdispersion bzw. -konzentration.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die verstellbare Anordnung eine drehbare Halterung aufweist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß an der drehbaren Halterung ein Positionsgeber vorgesehen ist, der ein von der Winkelstellungsausrichtung der linienförmigen Fokussierung abhängiges, insbesondere zur Winkelstellung proportionales, Signal abgibt.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Halterung durch die Fassung der Linse gebildet wird.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß einer Steuerungsvorrichtung zur Beeinflussung der Energiedichte der Laserstrahlung in Abhängigkeit von dem drehwinkelabhängigen Signal vorgesehen ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Regelung in der Weise vorgesehen ist, daß die Energiedichte der Laserstrahlung unabhängig von deren Linienlänge im wesentlichen konstant bleibt.

12. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlung eine Wellenlänge zwischen im wesentlichen 150 nm und 11 µm aufweist.

13. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Impulsdauer der Laserstrahlung mindestens 10 ns beträgt.

14. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Mehrspiegelgelenkarm zur Führung der Laserstrahlung vorgesehen ist.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

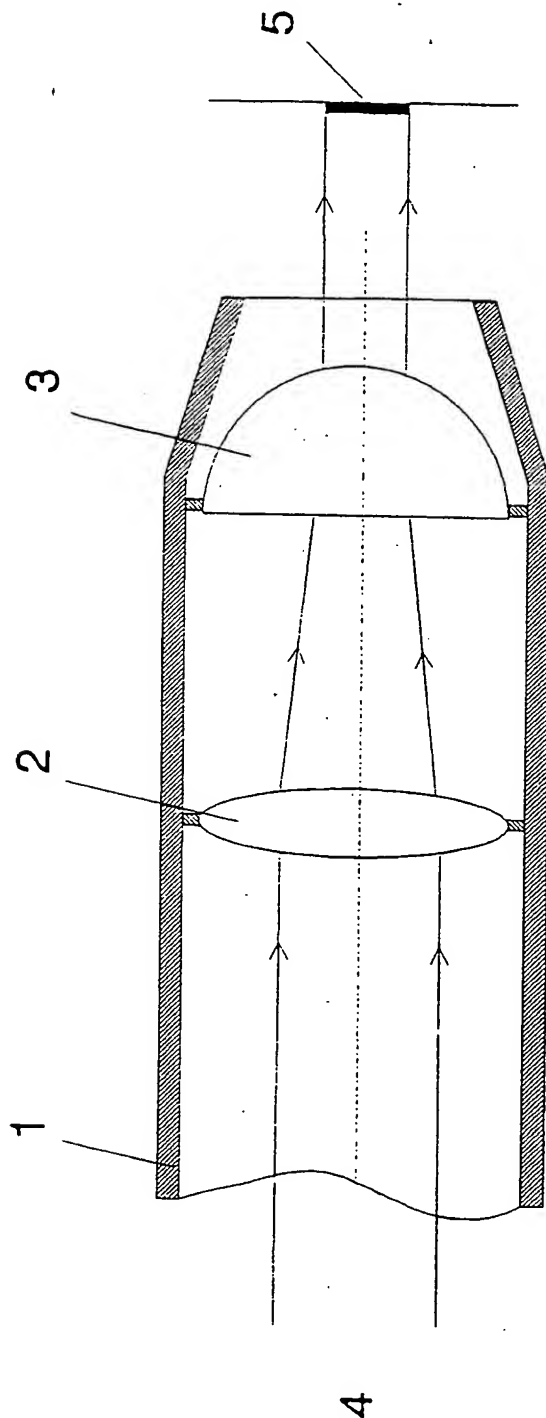


Fig. 1

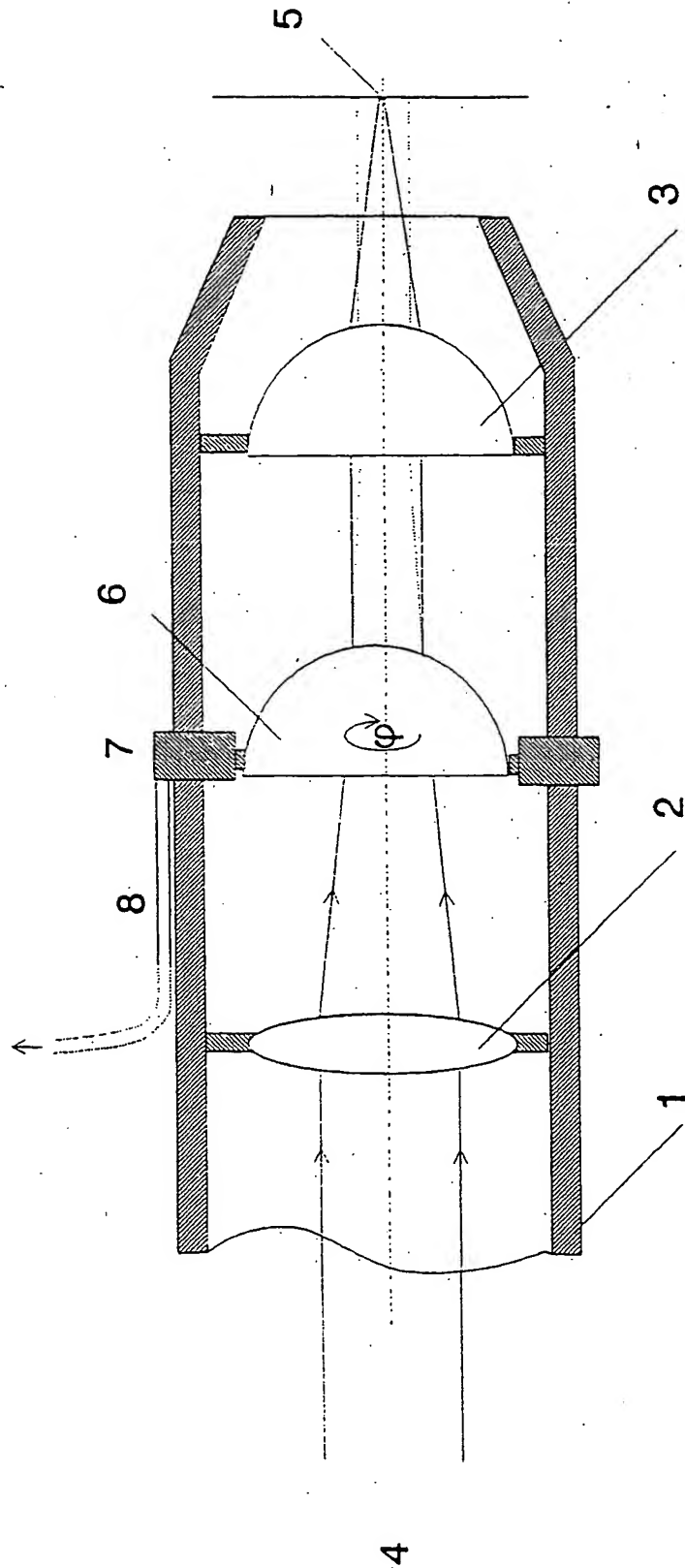


Fig. 2

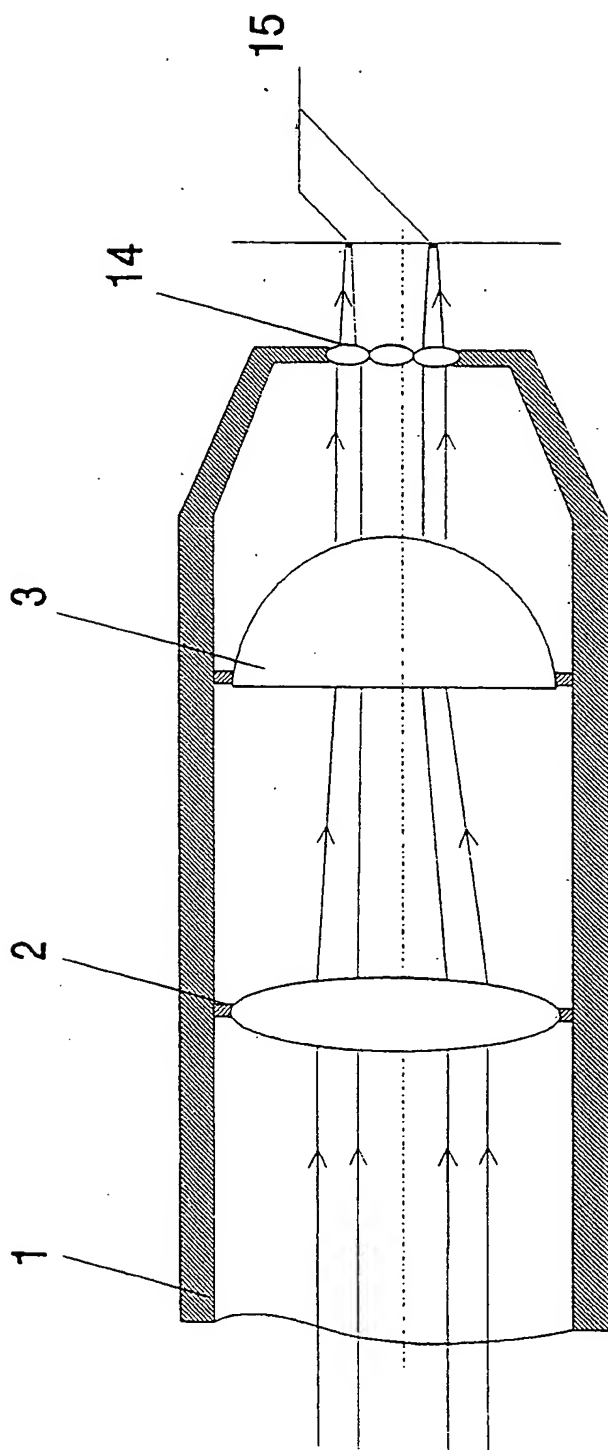


Fig. 3

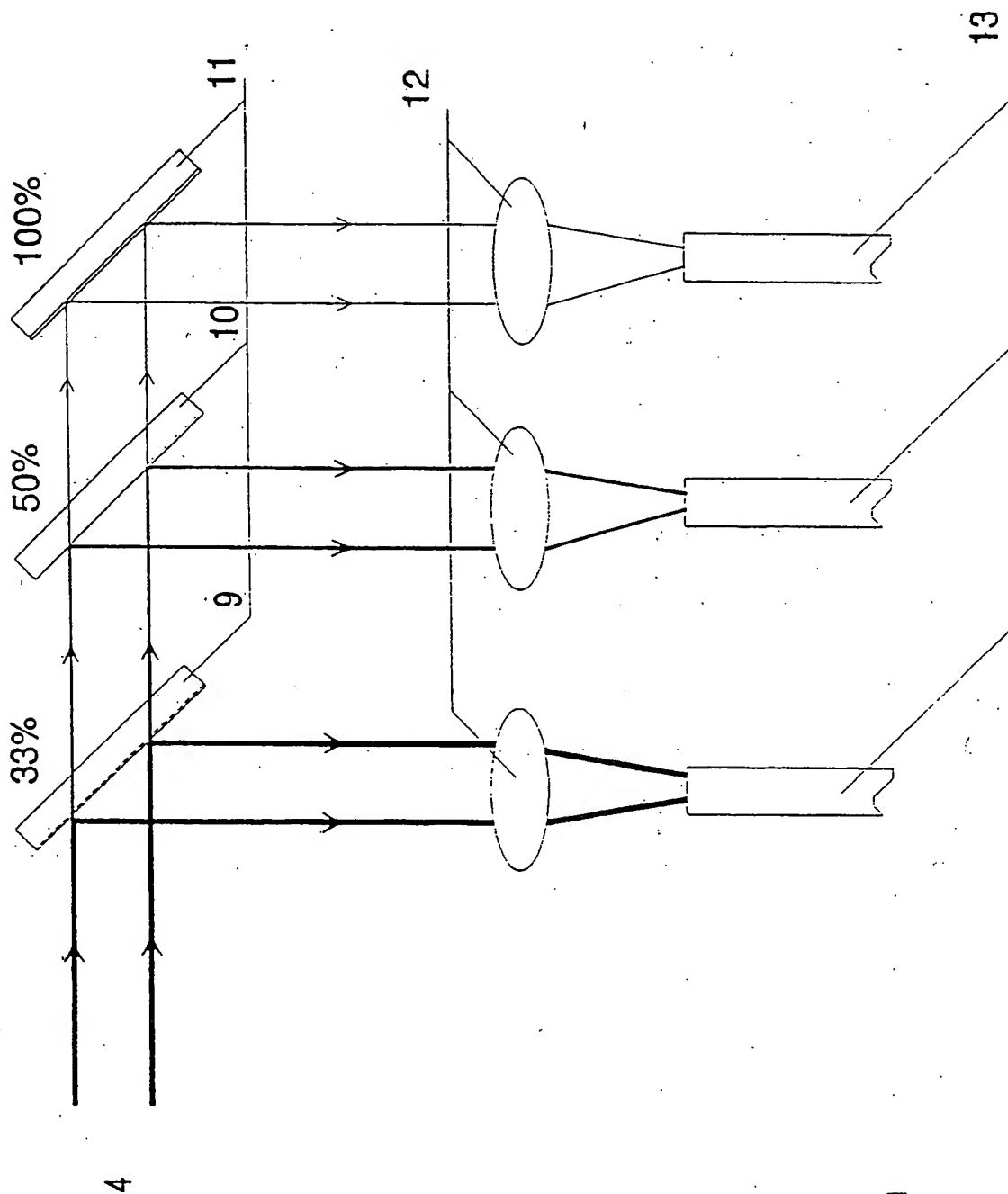


Fig. 4



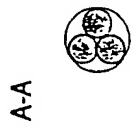
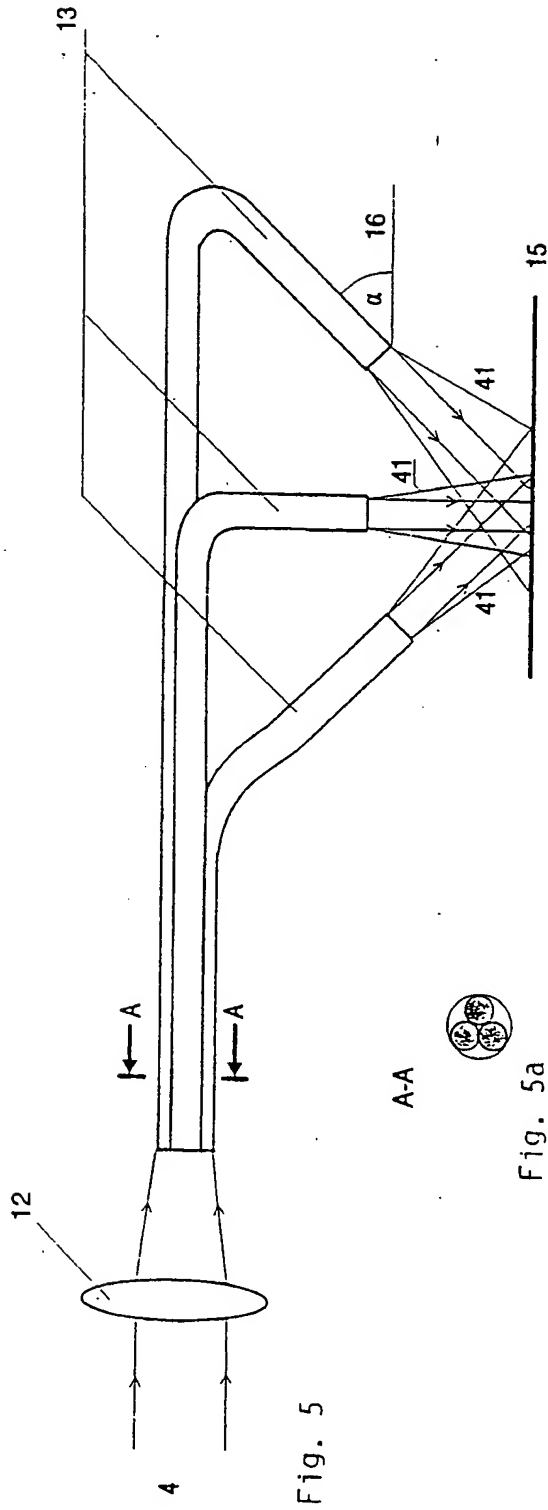
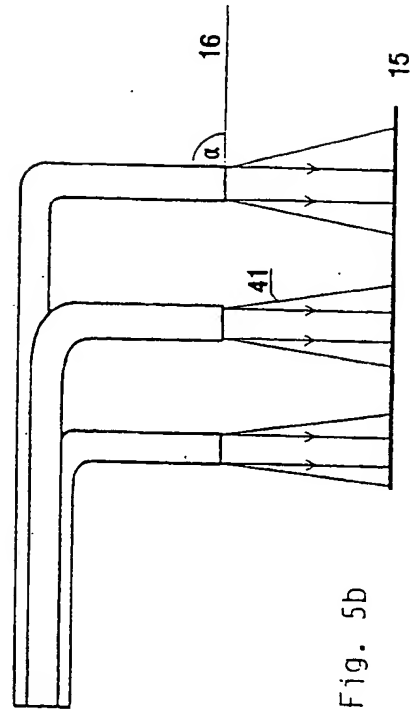
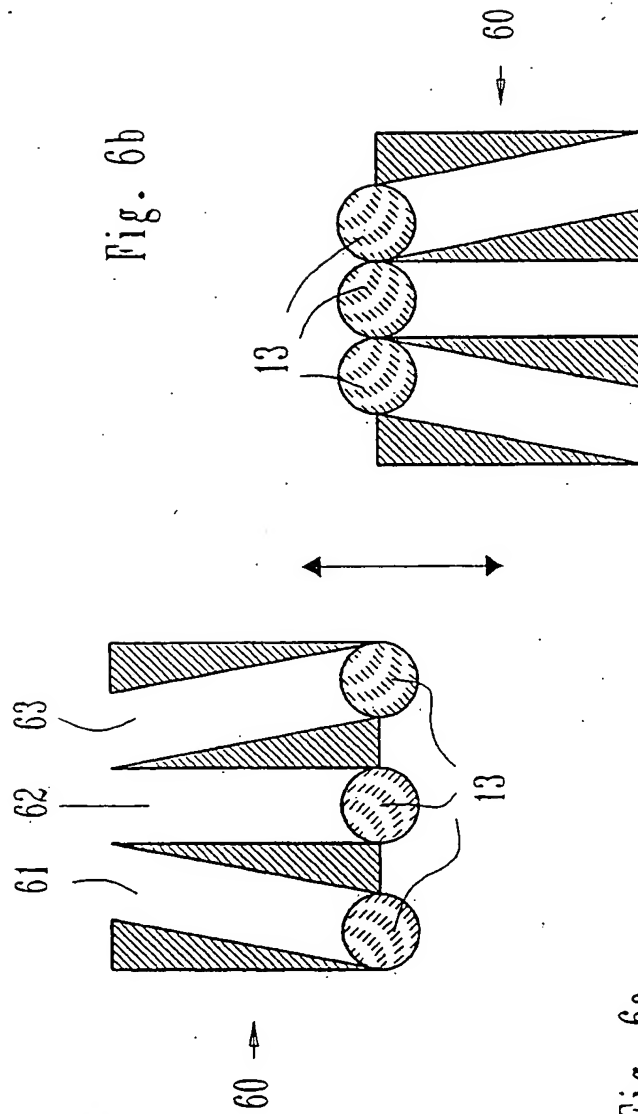


Fig. 5a





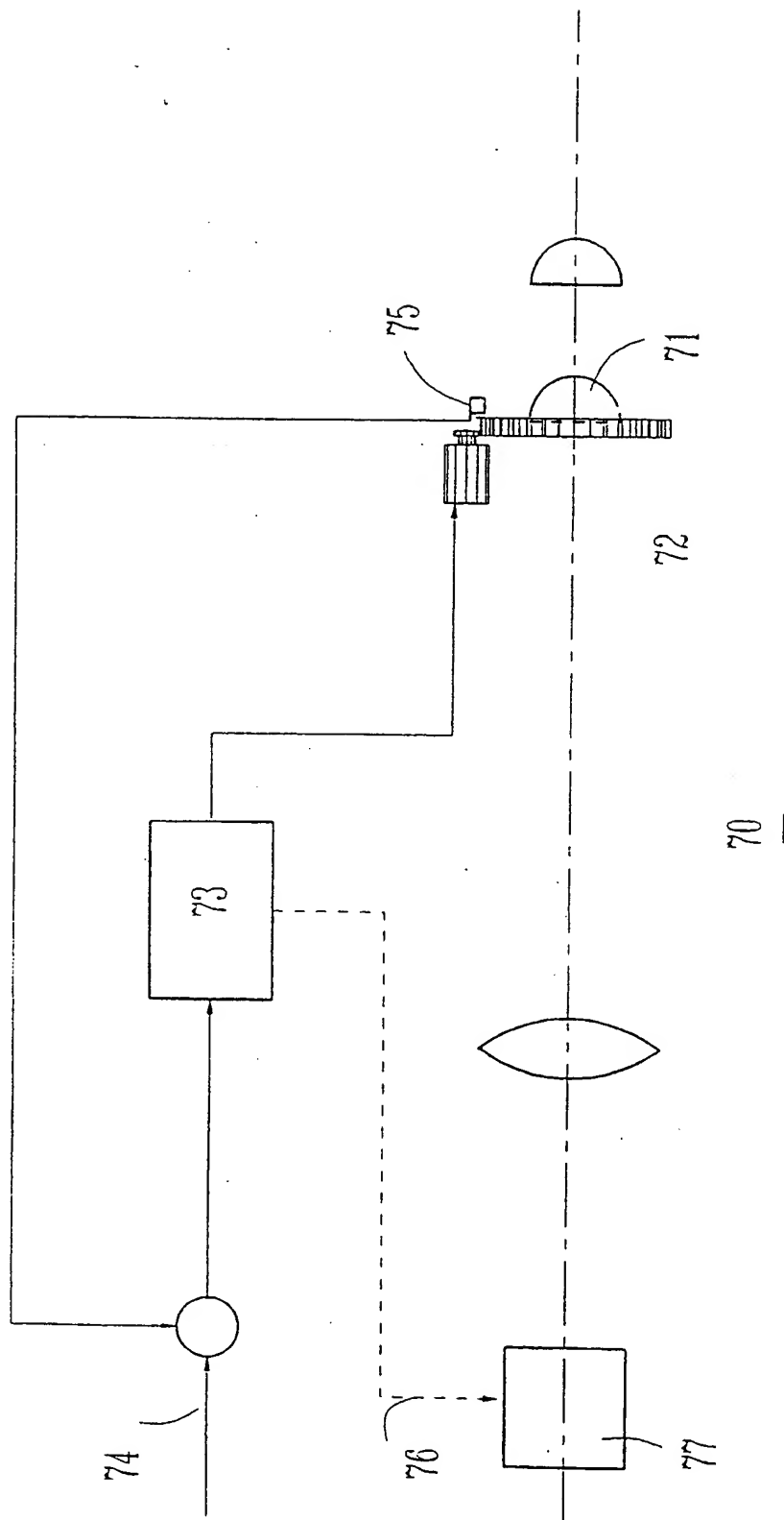


Fig. 7